Archive of SID

(پژوهشی)

نقدی بر روش‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (ریام، فولچی و تصمیم‌گیری چند معیاره) و استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک رویکرد نوین با محوریت توسعه پایدار

سجاد محب علی[۱]، سروش مقصودی[۲]، فرامرز دولتی ارده‌جانی*[۳]

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی پیشرفت، دانشگاه علم و صنعت
۲- دانش آموخته دکتری، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران/ آزمایشگاه هیدروژئولوژی و محیط‌زیست معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران
۳- استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران/ آزمایشگاه هیدروژئولوژی و محیط‌زیست معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران
(دریافت: مرداد ۱۳۹۸، پذیرش: دی ۱۳۹۸)

چکیده

روش‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مانند لئوپولد، فولچی و ماتریس ریام، تنها به تأثیرات مخرب طرح توجه نموده و کمتر مزایای اقتصادی و اجتماعی یک واحد صنعتی در آنها در نظر گرفته می‌شود. تحلیل پوششی داده ها به عنوان یک رویکرد نوین در ارزیابی واحدهای صنعتی علاوه بر مسائل زیست محیطی، تأثیرات مثبت اقتصادی و اجتماعی طرح را نیز در نظر گرفته و یک ارزیابی جامع از واحد صنعتی مورد نظر ارائه می‌نماید. در پژوهش حاضر کارخانه زغال شویی البرز شرقی در شمال ایران به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است و ۱۹ فعالیت کارخانه و ۱۱ مؤلفه زیست محیطی در ارزیابی اثرات زیست محیطی کارخانه مورد استفاده قرار گرفته اند. برای حل مسئله از دو رویکرد مرسوم تحلیل پوششی داده ها به نام‌های **CRS** و **VRS** استفاده شده است. نتایج نشان داد که مؤلفه‌های "بوم‌شناسی" و "چشم‌انداز منطقه" به عنوان مؤلفه های دارای بیشترین خطر باید مورد توجه جدی قرار گیرند. همچنین رسم نمودار "پتانسیل بهبود" در روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در تعیین طرح‌های توسعه و بهبود فعالیت‌های کارخانه مؤثر باشد. استفاده از مدل **CRS** با رویکرد افزایش خروجی‌ها نشان داد که برخی فعالیت های کارخانه مانند "دمپ خوراک ورودی"، "پساب کارخانه" و "میزان مصرف آب در کارخانه" بیش‌ترین اختلاف را با حالت بهینه داشتند و در طرح های توسعه ای آینده این مؤلفه‌ها حتماً باید به منظور اصلاح مدنظر قرار گیرند. در نهایت می‌توان گفت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه زغال‌شویی با رویکرد **CRS** خروجی محور در شرایط فعلی کارخانه به مفاهیم توسعه پایدار نزدیک‌تر است و می‌تواند ملاک عمل قرار گیرد.

کلمات کلیدی

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پایدار، کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی، روش‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، تحلیل پوششی داده‌ها

* عهده‌دار مکاتبات: *fdoulati@yahoo.com*

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

پیش‌بینی تأثیرات پروژه‌های توسعه‌ای یک ابزار کلیدی برای پیشرفت محیطی و اجتماعی و درنهایت توسعه پایدار به شمار می‌رود [۱]. درواقع می‌توان گفت توسعه صنعتی و پایداری محیطی دو عنصر اساسی در برنامه‌ریزی توسعه است[۲]. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کلید مدیریت تأثیرات زیست‌محیطی پروژه‌های صنعتی است که برای پیش‌بینی ارزیابی و کاهش تأثیرات محیطی و اجتماعی یک پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد و اغلب برای تأیید قانونی و تأمین مالی پروژه ضروری است و ازجمله ارزیابی‌های اولیه برای احداث یک واحد صنعتی است [۳-۴]. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی وسیع‌ترین ابزار سیاست‌گذاری زیست‌محیطی در جهان است که در تصمیم‌گیری پروژه‌های پیشنهادی و برنامه‌های استراتژیک استفاده می‌گردد. این ابزار با اینکه از زمان تدوینش (در سال ۱۹۶۹ در ایالات‌متحده) تاکنون بسیار بهبود یافته است اما هنوز با چالش‌های فراوانی روبروست[۵] درواقع هدف برنامه EIA شناسایی تمام تأثیرات مثبت و منفی یک طرح صنعتی یا معدنی بر محیط‌زیست اطراف است. امروزه ابزار EIA برای کنترل و پیشگیری مسائل زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی و معدنی به‌صورت گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرد. درواقع هدف اصلی کارشناسان EIA بررسی جامع و همه‌جانبه تأثیرات یک فعالیت صنعتی و شناسایی اثرات مضر بلندمدت فعالیت مورد نظر برای کاهش دادن اثرات است[۶].

از زمان معرفی EIA چند دهه می‌گذرد و در طول این مدت روش‌های ارزیابی متعددی ابداع و توسعه داده شده‌اند. از اولین روش‌ها ماتریس لئوپولد است. لونا لئوپولد و همکاران در سال ۱۹۷۱ ماتریسی برای ارزیابی اثرات مخرب پروژه‌های توسعه‌ای معرفی نمود [۷]. این ماتریس درواقع تأثیرات تک‌تک المان‌های پروژه مورد نظر را روی محیط‌زیست اطراف منطقه مورد بررسی قرار می‌دهد تا با استفاده از این رویکرد بتوان اقدامات اصلاحی را با توجه به تأثیرات پروژه در نظر گرفت [۸]. این روش به دلیل سادگی و کارایی‌اش هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. پاستاکیا و همکارانش در سال ۱۹۹۸ با استفاده از روشی ماتریسی، استراتژی به نام ماتریس سریع (RIAM) ابداع کردند که از تنظیم گزارش‌های بزرگ و قضاوت‌های کیفی بی‌نیاز است و می‌تواند گزارش‌های شفاف و قابل‌فهمی ارائه دهد. این روش در سال‌های بعد توسط فیلیپس توسعه داده شد [۱۰-۱۱]. در سال ۲۰۰۳ روشی دیگر به نام ماتریس فولچی که شکل تکامل یافته ماتریس لئوپولد است ابداع شد. این روش برخلاف روش لئوپولد، به شکل کمی بررسی می‌گردد. در سال ۲۰۰۹ میرمحمدی و همکاران با تهیه ضمیمه‌ای برای تعیین دقیق ضرایب، عدم قطعیت روش فولچی را کاهش دادند [۱۲-۱۳]. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۲ در زمینه بررسی پیشرفت جنبه‌های مختلف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، در قالب استراتژی SWOT انجام شده است و قوت‌ها و ضعف‌های EIA از ابتدا تا کنون بررسی شده است. از جمله موارد مطرح شده در این بررسی آن است که بتوان از EIA در فرصت‌هایی که برای EIA مطرح شده بررسی و انجام EIA در هر مرحله طراحی فرآیندهای توسعه‌ای پروژه استفاده نمود [۱۴]. در پژوهشی دیگر دنگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ به دلیل عدم قطعیت روش‌های متداول EIA روش جدیدی با نام D number را ابداع نمودند [۱۵] که در سال‌های بعد توسط وانگ اصلاح گردید [۱۶]. در پژوهش‌هایی دوردن و همکاران [۳] و کایکونن و همکاران [۱۷] از روش‌های مختلف ارزیابی اثرات زیست محیطی به منظور بررسی تأثیرات فعالیت‌های معدنکاری بر محیط استفاده نمودند. موضوعی که همواره چالش برانگیز بوده است توجه روش‌های مختلف EIA تنها بر روی محیط‌زیست است و اگرچه گاهی مؤلفه‌هایی مانند مسائل اقتصادی و اجتماعی نیز در برخی از این روش‌ها استفاده شده است اما همواره کفه ترازو به سوی محیط‌زیست سنگینی می‌کند. این رویکرد باعث شده است که صاحبان صنایع و معادن و پروژه‌های عمرانی همواره ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را به عنوان یک عامل مزاحم بر سر راه فعالیت‌های خود قلمداد نمایند. البته در سال‌های اخیر گسترش مفاهیمی مانند توسعه پایدار و مسئولیت اجتماعی سازمان، واحدهای صنعتی را تا حدودی متقاعد کرده است که توجه هم زمان به مسائل اقتصادی، جوامع بومی- محلی و محیط‌زیست اطراف کارخانه، می‌تواند سود اقتصادی آن واحد صنعتی را در درازمدت افزایش دهد [۱۸]. در این بین، ارائه رویکردی جدید در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی واحدها که به شکلی سیستماتیک، فرآیند EIA را انجام

www.SID.ir

Archive of SID

دهد و مسائل اقتصادی و اجتماعی محدوده طرح را همزمان در ارزیابی‌ها لحاظ نماید، یک نیاز اساسی است.

روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک رویکرد جامع برای محاسبه کارایی سازمان‌ها است. اندازه‌گیری کارایی از دیرباز مورد توجه سازمان‌ها بوده است و فارل [۱۹] را می‌توان از پیشگامان در این زمینه دانست. بیست سال پس از پژوهش فارل، چارنز و همکاران [۲۰] ایده اولیه فارل را توسعه دادند و آن را تحلیل پوششی داده‌ها نام نهادند [۲۱]. در سال‌های اخیر، با توجه به رویکرد جامعه جهانی به اهمیت محیط‌زیست، ارتباط کارایی سازمان‌ها به مسائل زیست‌محیطی آنها وابسته شده است و مشخص شده است که مشتریان، کالاهای سازگار با محیط‌زیست (حتی با هزینه بیشتر) را به کالاهای ناسازگار ترجیح می‌دهند [۲۲-۲۳]. در سال ۲۰۱۸ پژوهشی در زمینه مسائل مربوط به توسعه پایدار با استفاده از DEA انجام شد. روش تحلیل پوششی داده‌ها در این مسائل برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفت و کارایی آن سنجیده شد [۲۴]. این رویکرد جدید کارایی سنجی، به DEA Environmental Assessment معروف شده است. مطالعه‌ای که توسط وانگ و همکاران [۲۵] انجام گرفت از اولین پژوهش‌های در این زمینه بود که نشان داد پایداری شرکت‌ها در بازار جهانی علاوه بر مسائل مالی و اقتصادی به آلودگی‌های زیست‌محیطی که ایجاد می‌کنند نیز وابسته است. از دیگر پژوهش‌های در این زمینه می‌توان به مطالعه سویوشی و همکاران در زمینه نیروگاه‌های زغال سوز آمریکا [۲۶]، مدیریت زنجیره تأمین صنعت نفت آمریکا [۲۷]؛ و همچنین مطالعه‌ای برای برنامه‌ریزی توسعه اقتصادی با رویکرد جلوگیری از تولید آلودگی در چین [۲۸] اشاره نمود. از جمله دیگر کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان به استفاده از آن در ارزیابی چرخه حیات (LCA) اشاره نمود که لوزانو و همکاران در سال ۲۰۰۹ در پژوهشی کاربرد روش DEA را به عنوان ابزاری در بررسی‌های چرخه حیات مورد استفاده قرار دادند [۲۹].

در پژوهش حاضر تلاش شده است که از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به عنوان یک روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA) و جایگزین روش‌های سنتی مانند فولچی و ریام، استفاده شود. مطالعه این پژوهش، بر روی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی در شمال ایران انجام شده است. برای این ارزیابی، از ۱۹ فعالیت کارخانه به عنوان ورودی (و خروجی) و ۱۱ مؤلفه زیست‌محیطی به عنوان واحدهای مقایسه شونده در تحلیل پوششی (DMU) استفاده شده است. دو رویکرد VRS و CRS که از مشهورترین رویکردهای تحلیل پوششی داده‌ها هستند مقایسه شده‌اند و رویکرد BCC خروجی محور به عنوان یک روش جدید ارزیابی اثرات زیست‌محیطی با رویکرد توسعه پایدار معرفی شده است. نتایج به صورت گرافیکی ارائه شده‌اند و در انتها، فعالیت‌های کارخانه از نظر میزان تأثیرات، با استفاده از روش DEA مقایسه شده و برای برنامه‌ریزی در طرح‌های توسعه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- روش‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست محیطی و موضوع توسعه پایدار

از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی روش فولچی است که در سال ۲۰۰۳ توسط روبرتو فولچی ابداع گردید. در این روش ابتدا ماتریسی با عنوان ماتریس مرجع تشکیل داده می‌شود که در آن سطرها به فاکتورهای تأثیر اختصاص یافته، ستون‌ها نیز مؤلفه‌های محیط‌زیستی می‌باشند [۱۲-۱۳]. در نهایت با استفاده از نظر کارشناسان خبره برای فعالیت‌های واحد صنعتی وزن در نظر گرفته شده و حاصل‌ضرب این ماتریس وزن در ماتریس مرجع فولچی، پاسخ نهایی این روش خواهد بود. یکی دیگر از انواع روش‌های EIA روش ماتریس سریع ریام است که در سال ۱۹۹۸ توسط کریستوفر پاستاکیا تدوین گردید[۱۰]. در این روش دو گروه از معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. معیارهایی که نشان دهنده اهمیت وضعیت یا بزرگی اثر هستند و با A نشان داده می‌شوند و معیارهایی که نشان دهنده ارزش موقعیت هستند و با B نمایش داده می‌شوند. امتیاز داده شده به هر یک از این گروه معیارها (A و B) با استفاده از یک سری فرمول‌های ساده تعیین می‌شود. امتیازدهی برای گروه A از طریق ضرب امتیازهای داده شده و برای گروه B از طریق جمع امتیازهای داده شده به هر معیار صورت می‌گیرد. برای به دست آوردن امتیاز محیط‌زیستی نهایی (ES) که نشان دهنده وضعیت محیط‌زیستی فعالیت‌های پروژه است، این دو مقدار برای گروه A و گروه B در یکدیگر ضرب می‌شوند[۱۰].

www.SID.ir

Archive of SID

از دیگر روش‌های مورد استفاده در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، روش‌های متداول تصمیم‌گیری چند معیاره هستند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بسیار متنوع‌اند و از جمله می‌توان به روش‌های: AHP، Mont Carlo-AHP، TOPSIS، PROMETHEE II، ELECTRE I، ELECTRE II و Fuzzy AHP اشاره نمود. این روش‌ها نیز می‌توانند برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند و مؤلفه‌های زیست‌محیطی را که از فعالیت‌های واحد صنعتی متأثر می‌شوند اولویت‌بندی نمایند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بسیار گسترده‌اند و کارکردهای متنوعی دارند[۳۰-۳۴]، همین تنوع روش باعث شده است که برای ادغام این روش‌ها و رسیدن به یک جواب واحد از برخی استراتژی‌های ادغام مانند روش‌های بوردا و کپلند و کمنی و کوهلر استفاده شود. نکته مهم این است که اشکال عمده تمامی این روش‌ها به عنوان یک روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی این است که تنها متمرکز بر روی تأثیرات زیست‌محیطی پروژه هستند و دیگر جنبه‌های یک طرح یا واحد صنعتی را نادیده می‌گردند. این موضوع با اصول توسعه پایدار هماهنگ نیست و نیاز است تا ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به کمک روشی انجام شود که جنبه‌های مثبت یک طرح را نیز مانند تأثیرات زیست‌محیطی آن در نظر گرفته و در یک ارزیابی جامع در خصوص هر طرح اظهار نظر نماید.

در سال‌های اخیر موضوع توسعه پایدار به یک مسئله جدی در جوامع مختلف تبدیل شده است. توجه به انسان به عنوان جزئی از محیط‌زیست و همچنین توجه به مسائل اخلاقی در کنار مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی از رویکردهای نوین در مسائل مدیریتی زیست‌محیطی در دهه اخیر بوده است. مسئولیت اجتماعی سازمان (CSR) موضوعی است که شرکت‌ها و واحدهای صنعتی و معدنی را تشویق می‌نماید که چهار رکن اقتصاد، اجتماع، اخلاق و محیط‌زیست را در کنار یکدیگر دیده و رشد فکری و فرهنگی و اقتصادی جوامع بومی و محلی محدوده اطراف خود را به‌عنوان مقوله‌ای جدی و تأثیرگذار بر روی حیات مجموعه خود در آینده نگاه کنند (شکل ۱). اخلاق محیط‌زیست، اخلاق سازمانی و اخلاق پروژه در کنار موضوعاتی چون آگاهی بخشی، گسترش آموزش، برنامه‌های کارآموزی و به طور کلی توجه به جوامع بومی محلی در محدوده طرح صنعتی از ملزومات رویکرد CSR در مدیریت سبز واحدهای صنعتی و معدنی است.

شکل ۱: جنبه‌های مختلف مسئولیت اجتماعی سازمان (*CSR*)

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی یک سازمان به صورت سنتی، بدون در نظر گرفتن اصول توسعه پایدار و CSR باعث می‌شود سازمان‌ها و واحدهای صنعتی نیز انگیزه کافی برای پیاده‌سازی این سیستم مدیریتی را از دست داده و همچنان متولیان محیط‌زیست را دشمن خود تلقی نمایند. روش تحلیل پوششی داده‌ها که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شده است می‌تواند به‌خوبی جایگزین شیوه‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست محیطی گردد. این روش در کنار توجه به اثرات مخرب زیست محیطی واحد صنعتی، تأثیرات مثبت اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و اخلاقی آن واحد را نیز در محاسبات خود در نظر گرفته با یک رویکرد جامع و کمی به ارزیابی واحد صنعتی مورد نظر می‌پردازد. نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها در رد یا قبول یک پروژه صنعتی با دیدی جامع تهیه شده و می‌تواند کمتر مورد اعتراض واحدهای صنعتی قرار گرفته و همچنین با ارائه راهکارهایی که در ادامه در مورد آنها بحث خواهد شد کمک خواهد نمود که واحد صنعتی یک طرح عملیاتی (Action Plan) برای بهبود وضعیت زیست‌محیطی خود طراحی نموده و عدد کارایی (Efficiency Score) واحد خود را ارتقاء داده تا به سطح مطلوب تعیین‌شده نزدیک گردد و مجوزهای لازم را اخذ نماید. در طول اجرای طرح نیز می‌توان هرساله با اجرای مجدد روش، نمره کارایی واحد مربوطه را محاسبه نمود و وضعیت آن را مورد ارزیابی سالیانه قرار داد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۱- تحلیل پوششی داده‌ها رویکردی نوین در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

تحلیل پوششی داده‌ها روشی مبتنی بر محاسبه کارایی در صنایع مختلف است [۲۰، ۱۹]. محاسبه کارایی واحد تصمیم گیرنده DMU_j که در آن j=1,2,3, …,n است را می‌توان به کمک رابطه (۱) محاسبه نمود [۲۱]:

$$\sum_r \bar{u}_r y_{rj} \Big/ \sum_i \bar{v}_i x_{ij} \qquad (۱)$$

رابطه (۱) حاصل تقسیم مجموع وزن‌دار ورودی‌ها به مجموع وزن‌دار خروجی‌ها هست. x_{ij} ورودی‌های هر واحد (i=1,2,3, … , n) و $\bar{v}_i$ ضریب هزینه ورودی‌ها است و y_{rj} خروجی‌های هر واحد بوده (r=1,2,3,…,s) و $\bar{u}_r$ ضریب قیمت خروجی‌ها است. رابطه (۱) در مهندسی رابطه هزینه-سود نامیده می‌شود.

اما در بسیاری از موارد ضرایب ورودی و خروجی نامشخص هستند و این مسئله باعث ناکارایی رابطه (۱) می‌شود. برای رفع این مشکل پژوهشگران روشی به نام DEA ابداع نمودند که تا به امروز رویکردهای مختلفی از آن معرفی گشته است. در ادامه شرح خلاصه‌ای از معروف‌ترین این مدل‌ها آمده است.

۲-۱-۱- مدل بازده به مقیاس ثابت (CRS)

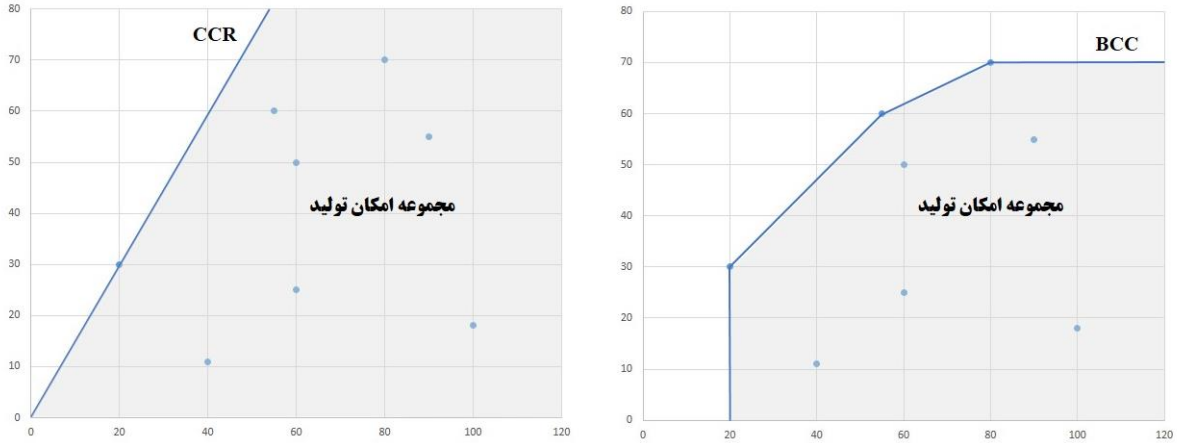
چارنز و همکاران [۲۰] برای محاسبه ضرایب ورودی و خروجی، مدلی غیرخطی پیشنهاد دادند که به پاس تلاش دانشمندان طراح آن، با استفاده از حرف اول نام این سه دانشمند CCR نیز نامیده شده است. این مدل برای واحد DMU_o به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد. در این رابطه مقدار ε یک عدد مثبت است.

$$\begin{aligned} e_o = max \quad & \sum_r u_r y_{ro} \Big/ \sum_i v_i x_{io} \\ s.t. \quad & \sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \le 0, \quad \forall j \\ & u_r, v_i \ge \varepsilon, \qquad all\ r, i. \end{aligned} \qquad (۲)$$

این مدل بر مبنای بیشینه کردن ورودی تعریف شده است. همچنین با معکوس کردن آن می‌توان از طریق کمینه کردن خروجی ضرایب را محاسبه نمود. بر طبق تئوری برنامه‌ریزی فرکشن[۱] چارنز و کوپر [۳۵] با تغییر متغیرهای $\mu_r = tu_r$ و $v_i = tv_i$ که در آن $t = (\sum_i v_i x_{io})^{-1}$ است، رابطه (۲) به مدل خطی[۲] رابطه (۳) تبدیل می‌گردد [۲۱]:

$$\begin{aligned} e_o = max \quad & \sum_r \mu_r y_{ro} \\ s.t. \quad & \sum_i v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_r \mu_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \le 0, \quad \forall j \\ & \mu_r, v_i \ge \varepsilon, \qquad all\ r, i. \end{aligned} \qquad (۳)$$

شکل ۲ مدل CCR را به صورت گرافیکی نشان داده است.



شکل ۲: مجموعه تولید محتمل برای مدل‌های CCR و BCC [۲۲]

۲-۱-۲- مدل بازده به مقیاس متغیر (VRS[۳])

در سال‌های بعد بنکرز و همکاران [۳۶] با توسعه روش CCR رویکرد دیگری از DEA برای واحدهای تصمیم گیرنده با بازدهی متغیر نسبت به مقیاس ابداع کردند که به نام خود این سه نفر و با استفاده از حروف ابتدای نام آنها BCC نام گذاری شده است. تفاوت این رویکرد با رویکرد چارنز در متغیر دیگری است که در رابطه (۴) نشان داده شده است[۲۱]:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\begin{aligned} e_o = max \quad & \left[\sum_r u_r y_{ro} - u_o\right] \Big/ \sum_i v_i x_{io} \\ s.t. \quad & \sum_r u_r y_{rj} - u_o - \sum_i v_i x_{ij} \le 0, \quad \forall j \\ & u_r, v_i \ge \varepsilon, \qquad all\ r, i. \end{aligned} \tag{۴}$$

که در آن u_o محدودیت ندارد. همچنین معادل خطی این رابطه به صورت رابطه (۵) آمده است:

$$\begin{aligned} e_o = max \quad & \sum_r \mu_r y_{ro} - \mu_o \\ s.t. \quad & \sum_i v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_r \mu_r y_{rj} - \mu_o - \sum_i v_i x_{ij} \le 0, \quad \forall j \\ & \mu_r, v_i \ge \varepsilon, \qquad all\ r, i. \end{aligned} \tag{۵}$$

در شکل ۲ مدل BCC به صورت گرافیکی نشان داده شده است.

در نسخه‌های اولیه این مدل‌ها عددی که به عنوان امتیاز کارایی در نظر گرفته می‌شود برای واحدهای ناکارا بین صفر و یک و برای واحدهای کارا عدد ۱ در نظر گرفته شده است. بدین صورت امتیاز تمام واحدهای کارا یکسان می‌گردد و نمی‌توان آنها را رتبه‌بندی نمود. برای رفع این مشکل اندرسون و پترسون [۳۷] پیشنهاد دادند برای واحد DMU_o محدودیت $j = o$ در روابط (۳) و (۵) اعمال نگردد. با این تغییر، واحدهای کارا می‌توانند کارایی بیش از ۱ نیز داشته باشند. رابطه (۶) شکل تغییر یافته مدل CCR را نشان می‌دهد [۳۸].

$$\begin{aligned} e_o = max \quad & \sum_r \mu_r y_{ro} \\ s.t. \quad & \sum_i v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_r \mu_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \le 0, \quad j = 1, \dots, n, \ j \ne o \\ & \mu_r, v_i \ge \varepsilon, \qquad all\ r, i. \end{aligned} \tag{۶}$$

۳- اجرای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در کارخانه زغال‌شویی

به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی که در شمال ایران قرار دارد، از روش‌های مختلفی که به دو گروه سنتی و نوین تقسیم می‌گردد، استفاده شده است. در ابتدا محدوده مورد نظر معرفی شده و سپس مؤلفه‌های زیست‌محیطی متأثر و فعالیت‌های کارخانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سه روش فولچی، ریام و تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان شاخص‌ترین روش‌های سنتی به منظور انجام روش EIA مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در نهایت با استفاده از روش DEA، رویکرد DEA-EIA در مورد این کارخانه پیاده‌سازی شده است.

۳-۱- محدوده موردمطالعه

در این پژوهش کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی به منظور انجام مطالعات EIA به دو شیوه سنتی و مدرن انتخاب شده است. این کارخانه در ۳۱ کیلومتری شهر دامغان قرار دارد. قسمت الف از شکل ۳ محل قرارگیری این کارخانه را نشان می‌دهد. این کارخانه یکی از مهم‌ترین واحدهای تولید کنسانتره زغالسنگ در ایران است و قدمتی حدود ۴۰ سال دارد. خوراک این کارخانه از چند معدن تأمین می‌گردد و شرکت فولاد اصفهان، بزرگ‌ترین شرکت فولاد خاورمیانه، مصرف‌کننده زغالسنگ فرآوری شده این کارخانه است [۳۹]. بر طبق طرح اولیه، ظرفیت کارخانه البرز شرقی ۸۰ تن در ساعت برآورد شده است و همچنین ظرفیت متوسط شستشوی آن ۱۵۰۰ تن زغالسنگ است که برای هر تن ۵ متر مکعب آب مصرف می‌گردد [۴۰]. در قسمت ب از شکل ۳ که عکس ماهواره‌ای منطقه است، توپوگرافی اطراف کارخانه و دمپ‌های باطله کارخانه مشخص گردیده است.

با توجه به اهمیت کشاورزی در منطقه، آلودگی‌های ایجاد شده توسط دمپ‌های کارخانه روی آب‌های سطحی منطقه، می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی به خصوص در پایین دست کارخانه را به شدت در معرض خطر آلودگی‌های زیست‌محیطی قرار دهد [۴۱]. همچنین استفاده کارخانه از آب‌های زیرزمینی نیز باعث کاهش بازدهی چاه‌های آب منطقه که کاربری کشاورزی دارند، می‌شود. در شکل ۴ یکی از دمپ‌های باطله کارخانه مشاهده می‌شود (قسمت الف). همچنین در قسمت ب شکل ۴ تأثیر باطله کارخانه بر روی خاک و محیط اطراف منطقه قابل مشاهده است.

از دیگر عوامل تأثیرگذار در آلودگی‌های کارخانه می‌توان به روش فرآوری زغالسنگ در کارخانه مورد مطالعه اشاره نمود. درصد بازیابی زغالسنگ روش مورد استفاده حدود ۵۰ درصد است و نیمی از زغالسنگ استخراج شده به باطله‌ها منتقل می‌شود. همچنین حدود ۳ میلیون تن باطله در اطراف کارخانه انباشته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳: موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران (الف)، محل دمپ‌های باطله و کارخانه زغال‌شویی (ب)

شکل ۴: تصویر واقعی از دمپ (الف)، وضعیت زیست‌محیطی منطقه (ب)

۳-۲- مؤلفه‌های زیست‌محیطی و فعالیت‌های کارخانه

به منظور اجرای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، ابتدا مؤلفه‌های زیست‌محیطی منطقه که از کارخانه تأثیر می‌پذیرند مشخص شده و سپس فعالیت‌های کارخانه تعیین شده و امتیازدهی می‌گردد. در رابطه با کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی ۱۹ فعالیت کارخانه و ۱۱ مؤلفه زیست‌محیطی مشخص شده و در فرآیند ارزیابی اثرات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین ماتریس مرجعی طراحی شده است که سطرهای آن را فاکتورهای تأثیرگذار کارخانه زغال‌شویی و ستون‌های آن را مؤلفه‌های زیست‌محیطی تشکیل داده‌اند. کارشناسان تأثیر هر کدام از فاکتورها را بر تک‌تک مؤلفه‌های زیست‌محیطی با عددی بین صفر تا ده برآورد می‌کنند. جدول ۱ میانگین امتیازات کارشناسان برای هر کدام از درایه‌ها را نشان می‌دهد. در این پژوهش از میانگین نظر ۱۰ نفر از کارشناسان مسلط به محدوده البرز شرقی برای تکمیل ماتریس تصمیم استفاده شده است.

در مراحل بعد به کمک روش‌های مختلف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، وضعیت کارخانه مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت در روش‌های سنتی مانند فولچی و ریام و تصمیم‌گیری چند معیاره، مؤلفه‌های زیست‌محیطی منطقه رتبه‌بندی می‌گردند و از نظر میزان تخریب توسط فعالیت‌های کارخانه با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۳-۳- نتایج روش‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

با استفاده از جدول ۱ محاسبات روش‌های کلاسیک ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی انجام شده است و نتایج آنها در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. همان گونه که در جدول ۲ مشخص است در روش ریام مؤلفه "آب‌های زیرزمینی" با نمره ۴۸ بیشترین خطر را دارد و باید مورد توجه جدی قرار گیرد. همچنین در روش فولچی، "آب‌های زیرزمینی"، "خاک منطقه" و "چشم‌انداز منطقه" به ترتیب با نمره‌های ۵۰/۶، ۴۸ و ۴۶/۱ آسیب‌پذیرترین مؤلفه‌های محدوده مورد مطالعه بوده و نیاز به توجه و رسیدگی دارند. نتایج حاصل از ۱۰ مورد از مشهورترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در جدول ۳ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: میزان تأثیر فاکتورهای تأثیرگذار روی مؤلفه‌های زیست‌محیطی

فاکتورهای تأثیر (فعالیت‌های کارخانه)	مؤلفه‌های زیست‌محیطی										
	خاک منطقه	مسائل اقتصادی	آرامش	چشم‌انداز منطقه	بوم‌شناسی	کاربری زمین	کیفیت هوا	آب‌های زیرزمینی	آب‌های سطحی	مسائل اجتماعی	سلامتی و ایمنی انسان
۱- تغییر کاربری ناحیه	۲	۷	۵	۹	۶	۵	۶	۸	۶	۷	۳
۲- ظاهر کارخانه و سد باطله	۴	۲	۵	۹	۷	۴	۱	۱	۱	۱	۳
۳- دمپ خوراک ورودی کارخانه	۳	۵	۵	۹	۷	۷	۲	۲	۲	۱	۵
۴- پساب کارخانه	۵	۳	۱	۵	۵	۳	۱	۶	۴	۱	۵
۵- افزایش ترافیک ناحیه	۱	۴	۶	۳	۵	۱	۲	۱	۱	۱	۳
۶- انتشار گردوغبار	۵	۱	۱	۲	۴	۳	۷	۱	۳	۱	۶
۷- انتشار آلاینده‌های سمی و خطرناک به هوا	۲	۳	۱	۳	۴	۲	۷	۱	۱	۱	۶
۸- آلودگی صوتی	۱	۱	۳	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱
۹- لرزش زمین	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۰- وجود مواد خطرناک در باطله	۴	۴	۱	۳	۳	۱	۳	۷	۴	۱	۵
۱۱- نشت آلاینده‌ها از تیلینگ	۶	۲	۱	۳	۴	۳	۱	۷	۵	۱	۵
۱۲- عدم استحکام در محل احداث تأسیسات	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳- وقوع پدیده نشست و فرو چال	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴- روشنایی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۵- میزان مصرف آب در کارخانه	۱	۱	۱	۴	۴	۴	۱	۶	۳	۱	۱
۱۶- اشتغال افراد بومی	۱	۷	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱
۱۷- کنترل جمعیت	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸- توسعه‌های اجتماعی و فرهنگی	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۲	۱	۳
۱۹- استقرار نظام حفاظت زیست‌محیطی	۳	۱	۲	۳	۳	۲	۳	۳	۳	۱	۴

جدول ۲: نتایج حاصل از روش‌های ریام و فولچی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

روش‌ها	مؤلفه‌های زیست‌محیطی										
	خاک منطقه	مسائل اقتصادی	آرامش	چشم‌انداز منطقه	بوم‌شناسی	کاربری زمین	کیفیت هوا	آب‌های زیرزمینی	آب‌های سطحی	مسائل اجتماعی	سلامتی و ایمنی انسان
RIAM	-۱۸	۱۸	-۶	-۳۶	-۱۴	-۸	-۷	-۴۸	-۱۴	۰	-۶
Folchi	۴۸	۳۴/۴	۳۴/۳	۴۶/۱	۴۵/۸	۳۹/۸	۴۳/۲	۵۰/۶	۴۵/۱	۳۸/۷	۴۵/۱

به منظور دستیابی به یک نتیجه واحد باید نتایج روش‌های مختلف با یکدیگر ترکیب شود. در شکل ۵ نتایج روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره به صورت تجمعی نشان داده شده است. این شکل برای تشخیص برآیند نتایج روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مناسب است. لازم به ذکر است برای به دست آوردن نتیجه برآیند، از استراتژی‌های ادغام نظیر روش‌های Borda، Copeland و همچنین Kohler نیز استفاده شده که نتایجی مشابه

www.SID.ir

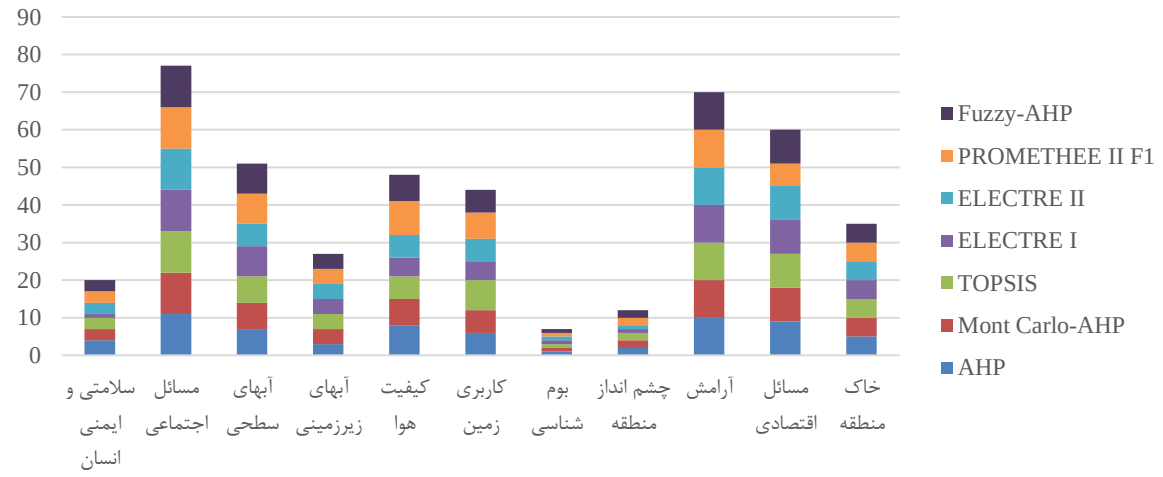
Archive of SID

شکل ۵ تولید شده است [۴۲]. این استراتژی‌های ادغام کمک می‌نمایند که نتایج متنوع روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره به یک نتیجه واحد تبدیل شوند.

با توجه به جدول ۳ سه مؤلفه "بوم‌شناسی"، "چشم‌انداز منطقه" و "سلامت و ایمنی انسان"، مؤلفه‌های دارای بیشترین آسیب زیست‌محیطی هستند.

جدول ۳: نتایج حاصل از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای مؤلفه‌های زیست‌محیطی

روش‌ها	مؤلفه‌های زیست‌محیطی										
	خاک منطقه	مسائل اقتصادی	آرامش	چشم‌انداز منطقه	بوم‌شناسی	کاربری زمین	کیفیت هوا	آب‌های زیرزمینی	آب‌های سطحی	مسائل اجتماعی	سلامتی و ایمنی انسان
AHP	۰/۰۹۳۰	۰/۰۸۱۰	۰/۰۶۵۸	۰/۱۱۴۵	۰/۱۱۸۹	۰/۰۸۵۴	۰/۰۸۳۹	۰/۱۱۱۰	۰/۰۸۴۲	۰/۰۵۱۴	۰/۱۱۰۸
MAHP	۰/۰۹۲۶	۰/۰۸۱۳	۰/۰۶۶۹	۰/۱۱۴۴	۰/۱۱۸۹	۰/۰۸۵۶	۰/۰۸۳۹	۰/۱۱۰۱	۰/۰۸۳۹	۰/۰۵۲۱	۰/۱۱۰۴
TOPSIS	۰/۴۴۲۶	۰/۲۹۸۶	۰/۲۶۶۵	۰/۵۴۳۲	۰/۵۷۴۶	۰/۳۵۳۹	۰/۴۱۱۱	۰/۵۲۱۹	۰/۳۷۷۸	۰/۱۹۸۲	۰/۵۲۸۲
Elect I	-۱	-۵	-۶	۷	۷	-۱	-۱	۵	-۳	-۹	۷
Elect II	-۲	-۶	-۷	۹	۹	-۳	-۳	۷	-۳	-۹	۸
Prom F1	۴	-۱/۷	-۲۱	۲۶/۷	۲۷/۷	-۵/۳	-۱۱/۸	۱۱/۵	-۹/۱	-۳۸/۳	۱۷/۳
Prom F2	-۱/۹	-۳/۹	-۱۰/۵	۲۰/۵	۲۵	-۵/۴	-۶/۹	۵/۸	-۸/۱	-۲۶/۶	۱۲
Prom F4	-۲/۱	-۴/۷	-۹/۷	۱۵/۷۵	۱۷/۵	-۴/۸	-۳/۷	۶/۶۵	-۶/۰۵	-۱۹/۸۵	۱۱
Prom F5	-۲/۵۵	-۵/۸	-۱۱/۰۵	۱۸/۳	۲۳/۴	-۶/۰۵	-۵/۱	۸/۵۵	-۵/۳۵	-۲۴/۶	۱۰/۲۵
FAHP	۰/۰۹۱۹	۰/۰۸۰۱	۰/۰۶۸۳	۰/۱۱۶۸	۰/۱۲۰۶	۰/۰۸۶۲	۰/۰۸۴۳	۰/۱۰۸۳	۰/۰۸۲۶	۰/۰۵۲۱	۰/۱۰۸۷



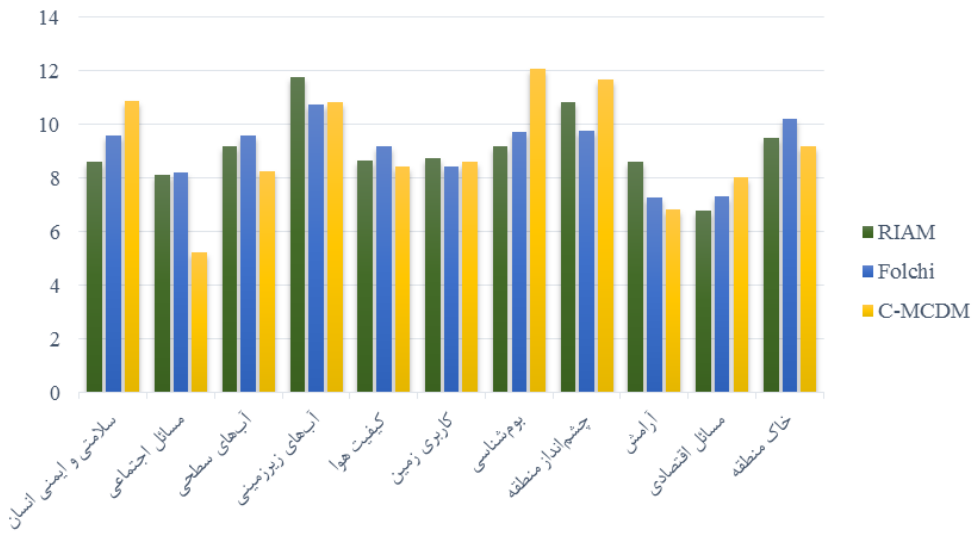
شکل ۵: نتایج تجمعی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره به کمک استراتژی‌های ادغام بوردا، کپلند و کمنی ترکیب شده و پاسخ نهایی آنها با عنوان C-MCDM ارائه شده است. در شکل ۶ برآیند روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با دو روش Folchi و RIAM مقایسه شده‌اند. همان گونه که مشخص است نتیجه نهایی تحلیل EIA ارائه همین گراف بوده و مؤلفه آب زیرزمینی را می‌توان به عنوان مؤلفه در خطر در محدوده مورد مطالعه معرفی نمود.

هرچند در سال‌های اخیر تلاش‌هایی در جهت کمی سازی بیشتر روش‌های EIA صورت پذیرفته است و افرادی مانند فیلیپس و همکاران [۴۳] در سال ۲۰۱۶ اقدام به ارائه شاخص توسعه پایدار بر اساس روش RIAM نمودند؛ اما همچنان این روش‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، چالش‌ها و مشکلات خود را داشته و از توانایی بالایی به منظور توجه به توسعه پایدار و مسئولیت‌های اجتماعی سازمان برخوردار نیستند [۴۴].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶: مقایسه نهایی روش‌های متداول ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

۴- اجرای تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به عنوان یک روش نوین ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یک روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی باعث می‌شود تا دیگر نیازی به وزن دهی توسط کارشناسان نباشد و معیارهای کمی به خوبی با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شوند. همچنین در تحلیل DEA می‌توان تأثیرات مثبت واحد صنعتی را به عنوان خروجی مدل در نظر گرفت و تأثیرات منفی آن واحد بر روی محیط‌زیست را به عنوان ورودی هر واحد در نظر گرفت و در این حالت کم کردن ورودی‌ها یعنی اثرات مخرب زیست‌محیطی در عین افزایش خروجی‌ها یعنی جنبه‌های مثبت طرح، یک واحد صنعتی را مطلوب ارزیابی خواهد نمود.

در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به روش DEA مؤلفه‌ها به دو گروه فاکتورهای مثبت و منفی تقسیم می‌گردند. در شکل ۷، ۱۹ فاکتور برای کارخانه مورد نظر، در نظر گرفته شده ۴ فاکتور مثبت و بقیه فاکتورها منفی هستند. در واقع برای ارزیابی اثرات کارخانه، آسیب‌هایی که این طرح می‌تواند بر روی محیط وارد کند به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود که به ۱۵ دسته تقسیم شده و فواید طرح نیز به عنوان خروجی طرح، در ۴ دسته آورده شده‌اند. به این ترتیب برای استفاده از روش DEA آسیب‌های شناسایی شده به عنوان ورودی و فواید طرح به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند. ۱۱ مؤلفه زیست‌محیطی نیز DMU های روش DEA را تشکیل می‌دهند.

بدین ترتیب برخلاف روش‌های سنتی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مانند فولچی و ریام که اهمیتی برای فعالیت‌های مثبت کارخانه قائل نبودند، در روش DEA می‌توان کلیه فاکتورهای مثبت کارخانه مانند "اشتغال افراد بومی"، "کنترل جمعیت"،"توسعه‌های اجتماعی و فرهنگی" و "استقرار نظام حفاظت زیست‌محیطی" را به عنوان output یا خروجی در محاسبات مدل DEA وارد نمود. با توجه به توضیحات بخش ۲-۳ در هر دو رویکرد معروف تحلیل پوششی داده‌ها یعنی CCR و BCC می‌توان مسئله ورودی‌ها و خروجی‌ها را در نظر گرفت. بدین صورت که هرکدام از این دو مدل (BCC و CCR) می‌توانند به شیوه "کمینه‌سازی ورودی" و "بیشینه‌سازی خروجی" عمل نمایند.

رویکرد کمینه‌سازی ورودی در DEA هر چند که در مفاهیم ریاضی خود تعاریف مخصوص به خود را دارا است، در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی می‌تواند به معنای رویکردی باشد که در آن، کم کردن ورودی‌های مدل، شرط اساسی در ارزیابی است. این بدان معناست که کاهش اثرات زیست‌محیطی (ورودی‌ها) اولویت بالاتری نسبت به افزایش فعالیت‌های مفید کارخانه (خروجی‌ها) را دارا می‌باشد. به نظر می‌رسد رویکردهای خروجی محور در DEA به مفاهیم توسعه پایدار نزدیک‌تر می‌باشند. چرا که در عین توجه به مسائل زیست‌محیطی به خروجی‌های مدل یعنی فعالیت‌های مثبت کارخانه نیز توجه می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۷: فاکتورهای تأثیر (ورودی یا خروجی) و مؤلفه‌های زیست‌محیطی (*DMU* ها) در رویکرد *DEA-EIA*

در محدوده کارخانه زغال شویی البرز شرقی، با استفاده از داده‌های جدول ۲، محاسبات DEA برای دو مدل اصلی CCR و BCC محاسبه و نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به توضیح است که با توجه به داده‌ها، نتایج این دو مدل در حالت استاندارد برای همه مؤلفه‌ها کارایی صد در صد را نشان می‌دهد که در این مواقع در بررسی‌های DEA از روشی به نام Super-efficiency یا A&P استفاده می‌شود تا ضرایب کارایی دارای توزیعی متناسب برای مؤلفه‌های مختلف باشد [۳۷]. در پژوهش حاضر کلیه محاسبات در نرم‌افزار Frontier Analyst نسخه ۴ انجام شده است. همان گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود نتایج مدل CCR برای دو حالت کمینه کردن ورودی‌ها و بیشینه کردن خروجی‌ها یکسان شده است و کاراترین مؤلفه "مسائل اقتصادی" و ناکارآمدترین مؤلفه "بوم‌شناسی" منطقه است.

رویکرد کمینه‌سازی ورودی در DEA هر چند که در مفاهیم ریاضی خود تعاریف مخصوص به خود را دارد، در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی می‌تواند به معنای رویکردی باشد که در آن، کم کردن ورودی‌های مدل، شرط اساسی در ارزیابی است. این بدان معناست که کاهش اثرات زیست‌محیطی (ورودی‌ها) اولویت بالاتری نسبت به افزایش فعالیت‌های مفید کارخانه (خروجی‌ها) را دارد. به نظر می‌رسد رویکردهای خروجی محور در DEA به مفاهیم توسعه پایدار نزدیک‌تر می‌باشند. چرا که در عین توجه به مسائل زیست‌محیطی به خروجی‌های مدل یعنی فعالیت‌های مثبت کارخانه نیز توجه می‌نمایند.

در محدوده کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی، با استفاده از داده‌های جدول ۲، محاسبات DEA برای دو مدل اصلی CCR و BCC محاسبه و نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به توضیح است که با توجه به داده‌ها، نتایج این دو مدل در حالت استاندارد برای همه مؤلفه‌ها کارایی صد در صد را نشان می‌دهد که در این مواقع در بررسی‌های DEA از روشی به نام Super-efficiency یا A&P استفاده می‌شود تا ضرایب کارایی دارای توزیعی متناسب برای مؤلفه‌های مختلف باشد [۳۷]. در پژوهش حاضر کلیه محاسبات در نرم‌افزار Frontier Analyst نسخه ۴ انجام شده است. همان گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود نتایج مدل CCR برای دو حالت کمینه کردن ورودی‌ها و بیشینه کردن خروجی‌ها یکسان شده است و کاراترین مؤلفه "مسائل اقتصادی" و ناکارآمدترین مؤلفه "بوم‌شناسی" منطقه است.

در روش BCC نیز در هر دو حالت کمینه ورودی و بیشینه خروجی مؤلفه "بوم‌شناسی" کمترین کارایی را داشته است و باید مورد توجه ویژه و رسیدگی قرار گیرد؛

www.SID.ir

Archive of SID

اما در زمینه مؤلفه‌های دارای کارایی بالا در روش BCC علاوه بر مؤلفه "مسائل اقتصادی" که کارایی بالایی را کسب نموده است مؤلفه "سلامتی و ایمنی انسان" نیز با کسب امتیاز ۱۰۰۰ کارایی بالایی داشته و وضعیت نسبتاً مطلوبی دارد.

جدول ۴: نتایج کارایی واحدهای تصمیم گیرنده با استفاده از روش *DEA-EIA* با استفاده از رویکرد *Super-Efficiency*

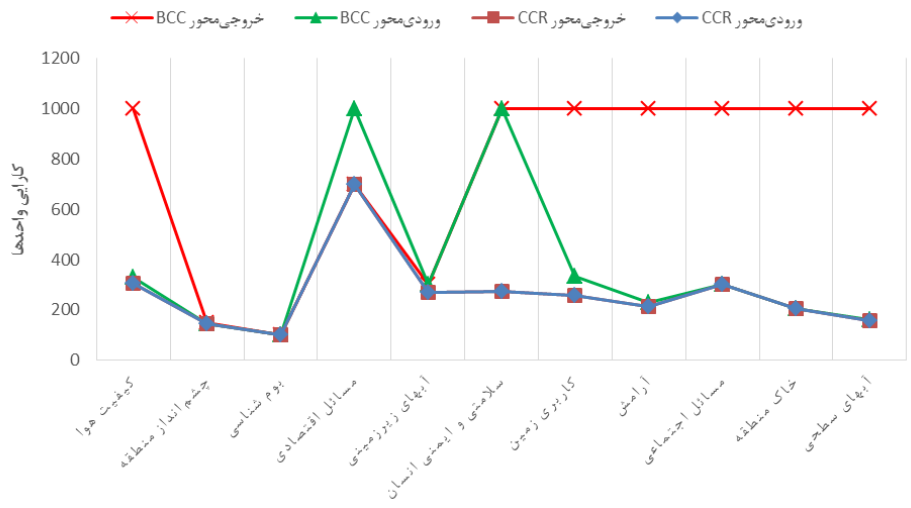
واحدهای تصمیم‌گیرنده	روش کمینه‌سازی ورودی		روش بیشینه‌سازی خروجی	
	CCR	BCC	CCR	BCC
کیفیت هوا	۳۰۴/۶	۳۲۸/۶	۳۰۴/۶	۱۰۰۰
چشم‌انداز منطقه	۱۴۶/۲	۱۴۶/۲	۱۴۶/۲	۱۵۰
بوم‌شناسی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مسائل اقتصادی	۷۰۰	۱۰۰۰	۷۰۰	۷۰۰
آب‌های زیرزمینی	۲۷۰/۲	۳۰۰	۲۷۰/۲	۳۰۰
سلامتی و ایمنی انسان	۲۷۲/۷	۱۰۰۰	۲۷۲/۷	۱۰۰۰
کاربری زمین	۲۵۶/۳	۳۳۳/۳	۲۵۶/۳	۱۰۰۰
آرامش	۲۱۴/۱	۲۳۰/۴	۲۱۴/۱	۱۰۰۰
مسائل اجتماعی	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۰۰۰
خاک منطقه	۲۰۷/۳	۲۰۷/۳	۲۰۷/۳	۱۰۰۰
آب‌های سطحی	۱۵۸/۶	۱۶۰/۹	۱۵۸/۶	۱۰۰۰

همان گونه که از جدول ۴ مشخص است مزیت روش DEA-EIA این است که می‌توان هر دو حالت کمینه کردن ورودی‌ها و یا بیشینه کردن خروجی‌ها را در نظر گرفت. در این صورت در ارزیابی‌های EIA به این روش اگر کمینه کردن ورودی‌ها مدنظر قرار گیرد یعنی کم کردن اثرات زیست‌محیطی طرح بیشتر مدنظر است و اگر روش بیشینه کردن خروجی‌ها مورد استفاده قرار گیرد، بدین معنا است که مزایای اقتصادی و اجتماعی طرح بیشتر مدنظر قرار گرفته است و کارایی DMU های مختلف با این پیش‌فرض‌ها نسبت به یکدیگر سنجیده شده است. همان گونه که در جدول ۴ مشخص است با مقایسه روش BCC در این دو حالت می‌توان این گونه جمع‌بندی نمود که اگر بیشینه کردن تأثیرات مثبت ملاک سنجش و مقایسه باشد تفاوت چندانی بین کارایی مؤلفه‌های مختلف وجود ندارد و اکثر مؤلفه‌ها دارای کارایی بالایی می‌باشند و می‌توان گفت اگر کارخانه زغال‌شویی به رفع مشکل مؤلفه‌هایی مانند "بوم‌شناسی"، "چشم‌انداز منطقه" و "آب‌های زیرزمینی" اقدام کند، با در نظر گرفتن موضوع توسعه پایدار، مشکل چندانی برای فعالیت نخواهد داشت. این قضاوت یعنی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه زغال‌شویی با "رویکرد BCC خروجی محور" در شرایط فعلی کارخانه به مفاهیم توسعه پایدار نزدیک‌تر است. با توجه به اینکه روش CCR در هر دو حالت ورودی محور و خروجی محور پاسخ‌های یکسان داده است می‌توان گفت روش BCC روش مفیدتری در تحلیل‌های EIA می‌باشد. بدین‌صورت که اگر BCC ورودی محور مدنظر باشد توجه بر روی محیط‌زیست است و اگر BCC خروجی محور مورداستفاده قرار گیرد توجه بر روی فعالیت مثبت کارخانه است.

شکل ۷ نتایج نهایی بررسی DEA-EIA را به صورت گرافیکی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه فاکتورهای تأثیر منفی به عنوان ورودی و فاکتورهای تأثیر مثبت به عنوان خروجی در نظر گرفته شده‌اند، در این نمودار امتیاز کمتر نشان دهنده نسبت تأثیر مفید به تأثیرات مخرب کمتر است. در نتیجه هرچه امتیاز مؤلفه‌ها بیشتر باشد وضعیت کلی آن مؤلفه بهتر است و کارایی بالاتری دارد و امتیاز کمتر نشان‌دهنده کارایی کمتر است.

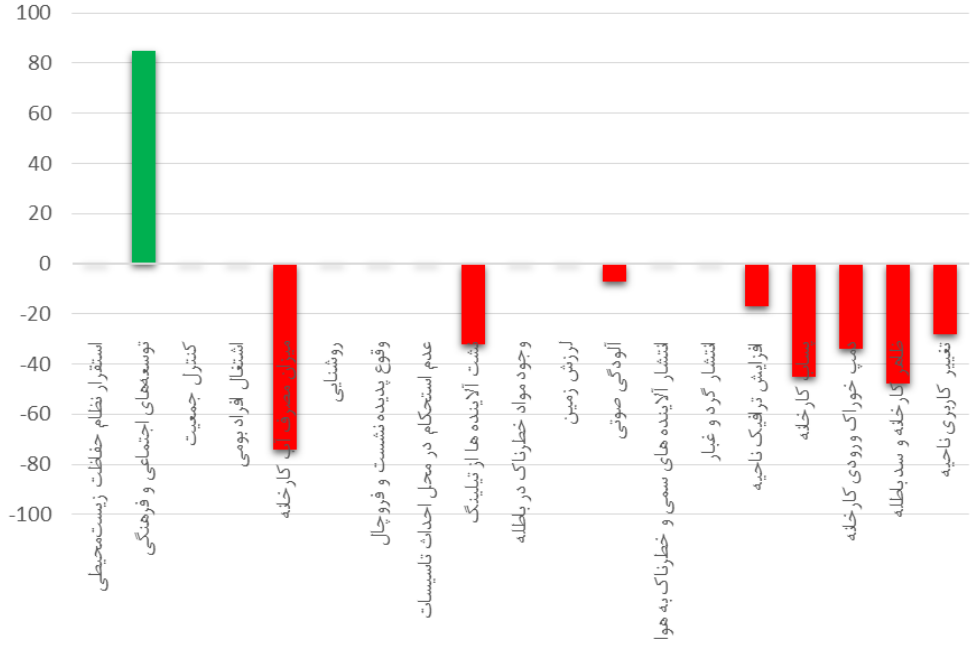
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷: کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده برای مدل‌های *CCR* و *BCC* در روش *DEA-EIA*

یکی از موضوعاتی که در تحلیل EIA کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد بحث میزان تأثیرگذاری فعالیت‌های کارخانه است. این موضوع زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که کارفرما بخواهد طرح را ارتقا داده و از تأثیرات زیست‌محیطی آن کم کند. در این حالت طرح‌های توسعه با توجه به فعالیت‌های بحرانی کارخانه مطرح شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. بدین‌صورت که یکی از معیارهای برگزیدن طرح پیشنهادی، میزان تأثیر آن بر روی یک یا چند فعالیت بحرانی کارخانه باشد. این موضوع در بررسی‌های سناریوهای ارزیابی چرخه حیات نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. استفاده از روش DEA این موضوع را به‌خوبی محقق می‌کند و یک ابزار کارآمد برای این‌گونه تحلیل‌ها است. به عنوان مثال در ارزیابی انجام شده بر روی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی، می‌توان برای یک DMU خاص نمودار پتانسیل بهبود[۴] را رسم نمود. این نمودار نشان می‌دهد که برای یک مؤلفه خاص مانند مؤلفه "بوم‌شناسی" که در این نمودار نشان داده شده است، فعالیت‌های کارخانه چقدر با میزان مطلوب فاصله دارند. در شکل ۸ میزان اختلاف هر کدام از فعالیت‌های کارخانه در رابطه با مؤلفه بوم‌شناسی از مقدار هدف[۵] نشان داده شده است. بدین معنا که به عنوان مثال فاکتور "میزان مصرف آب کارخانه" برای رسیدن به حالت مطلوب باید در حدود ۷۵ درصد کاهش یابد و یا فاکتور "توسعه‌های اجتماعی و فرهنگی" می‌تواند تا میزان ۸۵ درصد برای رسیدن به حالت کارا افزایش یابد.

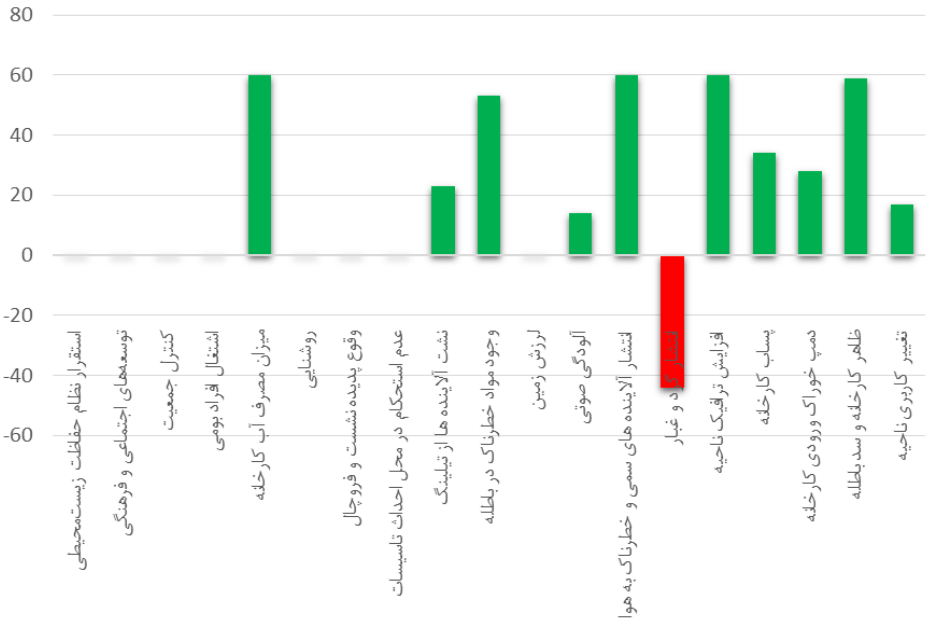


شکل ۸: نمودار پتانسیل بهبود برای مؤلفه "بوم‌شناسی" در مدل *BCC* (خروجی محور)

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین شکل ۹ نمودار پتانسیل بهبود را برای مؤلفه "آب‌های سطحی" در حالت BCC (ورودی محور) که تمرکز بیشتری بر روی خطرات زیست‌محیطی دارد، نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است میزان انتشار گردوغبار کارخانه باید در حدود ۴۰ درصد کاهش یابد. البته اعداد ارائه شده در این دو شکل صرفاً در رابطه با یک مؤلفه خاص می‌باشند. اگر بخواهیم وضعیت "پتانسیل بهبود" را در حالت کلی به دست آوریم باید از جمع این اعداد برای کلیه DMU ها استفاده کنیم. این کار برای مثال کارخانه زغال‌شویی انجام شده است و نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۹: نمودار پتانسیل بهبود برای مؤلفه "آب‌های سطحی" در مدل *BCC* (ورودی محور)

همان گونه که ملاحظه می‌شود در حالت مدل CCR و روش کمینه کردن ورودی‌ها، اکثر فاکتورهای تأثیر یعنی فعالیت‌های کارخانه وضعیت مناسبی دارند و تا حدود چند درصد نیز می‌توانند افزایش یابند. این موضوع نشان می‌دهد که با این شیوه ارزیابی کارخانه در وضعیت توسعه پایدار قرار داشته و خطر چندانی برای محیط‌زیست ندارد. برای همین است که توصیه می‌شود روش BCC خروجی محور به عنوان روش اصلی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به کمک DEA مورد استفاده قرار گیرد. این تحلیل که به واقعیت کارخانه نیز بسیار نزدیک‌تر است از مزایای روش DEA می‌باشد؛ زیرا که در بررسی‌های انجام شده توسط نویسندگان بر روی همین کارخانه با استفاده از دیگر روش‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مانند Folchi، RIAM و حتی MCDM ماهیت آن روش‌ها به‌گونه‌ای بود که نتایج تحلیل، باعث ایجاد شائبه آلودگی و نگرانی‌های زیست‌محیطی در منطقه می‌گردید، در حالی که این موضوع با نظر خود کارشناسان طرح و پرکنندگان فرم‌ها و پرسش نامه‌ها منافات داشت. روش DEA-EIA با توجه به این قابلیت می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی EIA باشد.

همچنین نکته بسیار مهم و جالب دیگر این است که در عین این که نتایج جدول ۴ نشان داد که استفاده از روش BCC در حالت بیشینه کردن خروجی‌ها، مفهومی نزدیک‌تر به توسعه پایدار است و حاصل آن ارزیابی مثبت‌تری نسبت به وضعیت کارخانه است. به دست آوردن امتیازات پتانسیل بهبود کل[۶] برای فعالیت‌های کارخانه در حالتی که از مدل BCC خروجی محور استفاده می‌شود (جدول ۵) نتایج سخت گیرانه‌تری برای بهبود فعالیت‌های کارخانه دارد. این شیوه در عین حال که باعث تعطیلی فعالیت‌های کارخانه نمی‌گردد و یک ارزیابی منطقی منطبق با واقعیت از شرایط کارخانه ارائه می‌دهد واحد صنعتی را نیز ترغیب می‌نماید که فعالیت‌های نامطلوب خود را کاهش داده و به میزان استاندارد برساند. همان گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود بیشتر فعالیت‌های کارخانه برای رسیدن به حالت مطلوب باید از میزان فعلی خود کاهش یابند. به عنوان مثال دمپ خوراک ورودی و پساب کارخانه باید به

www.SID.ir

Archive of SID

میزان ۱۳ درصد کاهش یابند تا به میزان بهینه برسند. یا اینکه میزان مصرف آب کارخانه باید به میزان ۱۱ درصد کاهش یابد. این‌گونه تحلیل‌ها که اطلاعات کمی بسیار ارزشمندی در خصوص وضعیت کارخانه و طرح‌های توسعه آن ارائه می‌دهد ازجمله مزایای روش DEA-EIA است که روش‌های مرسوم EIA به هیچ وجه دارای این قابلیت‌ها نیستند و استفاده از DEA می‌تواند ابزاری جدید و بسیار مناسب در بررسی وضعیت پروژه‌های صنعتی و معدنی باشد.

جدول ۵: امتیاز پتانسیل بهبود کل برای کارخانه زغال شویی البرز شرقی با استفاده از تحلیل *DEA-EIA*

فاکتورهای تأثیر (فعالیت‌های کارخانه)	پتانسیل بهبود کل			
	BCC بیشینه‌سازی خروجی‌ها	BCC کمینه‌سازی ورودی‌ها	CCR بیشینه‌سازی خروجی‌ها	CCR کمینه‌سازی ورودی‌ها
۱- تغییر کاربری ناحیه	-۳/۶۷	۰/۷۵	-۳/۶۲	۸/۰۴
۲- ظاهر کارخانه و سد باطله	-۱۰/۰۲	۳/۹۴	-۶/۷۱	۴/۲۷
۳- دمپ خوراک ورودی کارخانه	-۱۳/۲۳	۵/۳۶	-۷/۹۶	۱/۸۱
۴- پساب کارخانه	-۱۳/۱۱	۹/۸۶	-۶/۵۵	۳/۵۲
۵- افزایش ترافیک ناحیه	-۸/۴۷	۱۱/۵۱	-۵/۲۵	۴/۳۲
۶- انتشار گردوغبار	۰	۱۰/۹۲	-۴/۸۹	۶/۴۱
۷- انتشار آلاینده‌های سمی و خطرناک به هوا	-۷/۱۱	۸/۱۶	-۶/۲۸	۲/۸۳
۸- آلودگی صوتی	-۰/۳۸	۲/۲۴	-۴/۷۷	۶/۶۶
۹- لرزش زمین	۰	۰	-۴/۸۰	۶/۶۲
۱۰- وجود مواد خطرناک در باطله	-۹/۴۶	۱۳/۵۵	-۵/۱۵	۳/۸۱
۱۱- نشت آلاینده‌ها از تیلینگ	-۸/۹۵	۱۲/۲۸	-۵/۲۳	۵/۰۱
۱۲- عدم استحکام در محل احداث تأسیسات	-۲/۶۷	۰/۷۸	-۵/۱۴	۴/۹۱
۱۳- وقوع پدیده نشست و فرو چال	۰	۰	-۴/۸۰	۶/۶۲
۱۴- روشنایی	۰	۰	-۴/۸۰	۶/۶۲
۱۵- میزان مصرف آب در کارخانه	-۱۱/۱۱	۲/۸۹	-۵/۳۰	۶/۶۹
۱۶- اشتغال افراد بومی	-۴/۵۷	۱/۶۱	-۴/۲۸	۴/۸۳
۱۷- کنترل جمعیت	۰	۰	-۴/۸۰	۶/۶۲
۱۸- توسعه‌های اجتماعی و فرهنگی	۱/۹۱	۱۲/۲۳	-۳/۲۱	۵/۴۵
۱۹- استقرار نظام حفاظت زیست‌محیطی	-۵/۳۳	۳/۹۲	-۶/۴۵	۴/۹۶

۵- نتیجه‌گیری

توجه روز افزون به محیط‌زیست، لزوم استفاده از روش‌های کاراتر و دقیق‌تر برای ارزیابی تأثیرات مفید و مضر پروژه‌های توسعه‌ای را افزایش می‌دهد. روش‌های سنتی EIA مانند Folchi و RIAM و MCDM این نقص را دارند که توجه آنها بیشتر بر روی تأثیرات مخرب واحد صنعتی بوده و جنبه‌های مثبت طرح مانند بهبود وضعیت اقتصادی و معیشت مردم و همچنین ارتقاء وضعیت فرهنگی و اجتماعی جوامع بومی اطراف را در نظر نمی‌گیرند. نگاه توسعه پایدار به مسئله ارزیابی اثرات زیست‌محیطی از جمله مسائلی است که باید در طراحی روش‌های جدید EIA مورد توجه قرار گیرد. در پژوهش حاضر از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی یک کارخانه زغال‌شویی استفاده شده است. دو مدل BCC و CCR که دو رویکرد شناخته شده در DEA هستند در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای هر کدام از این مدل‌ها روش‌های کمینه کردن ورودی‌ها و بیشینه کردن خروجی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. کاربرد این دو روش می‌تواند به نوعی رویکرد توسعه محور (بیشینه کردن خروجی‌ها) و رویکرد محیط‌زیست محور (کمینه کردن ورودی‌ها) را در ارزیابی

www.SID.ir

Archive of SID

اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار دهد. روش DEA به دلیل عدم نیاز به تعیین وزن فاکتورهای تأثیرگذار، می‌تواند از عدم قطعیت نتایج و همچنین خطاهای انسانی کم کند و نتایج نهایی را قابل اعتمادتر کند. از مشکلات استفاده از این روش در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی می‌توان به تعداد پایین فاکتورهای تأثیر در نظر گرفته شده به نسبت مؤلفه‌های زیست‌محیطی اشاره نمود. در شرایط ایده‌آل مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها باید از سه برابر تعداد DMU ها بیشتر باشند؛ یعنی برای ۱۱ مؤلفه حداقل باید ۳۳ فاکتور موجود باشد. به همین دلیل نویسندگان برای رتبه‌بندی مؤلفه‌ها در ارزیابی وضعیت کارخانه موجود از رویکرد Supper Efficiency استفاده نمودند.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه به دو روش BCC و CCR در دو حالت کمینه کردن ورودی‌ها و بیشینه کردن خروجی‌ها نشان داد که مؤلفه‌های "بوم‌شناسی" و "چشم‌انداز منطقه" دو مؤلفه زیست‌محیطی هستند که در تحلیل DEA کمترین کارایی را داشته و باید موردتوجه جدی قرار گیرند. همچنین می‌توان گفت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه زغال‌شویی با رویکرد BCC خروجی محور در شرایط فعلی کارخانه به مفاهیم توسعه پایدار نزدیک‌تر است. استفاده از روش "پتانسیل بهبود" به عنوان یکی از نتایج تحلیل‌های DEA کمک می‌کند که وضعیت فعالیت‌های کارخانه و میزان تأثیر آنها نیز مورد بررسی قرار گیرد و بتوان در انتخاب طرح‌های توسعه‌ای کاراتر از این نتایج استفاده نمود. نتایج تحلیل "پتانسیل بهبود کل" نشان داد که مدل BCC با رویکرد بیشینه کردن خروجی‌ها ارزیابی سخت‌گیرانه‌تری نسبت به فعالیت‌های کارخانه داشته و فعالیت‌هایی مانند "دمپ ورودی کارخانه" و "میزان مصرف آب در کارخانه" برای رسیدن به حالت کارا باید در حدود ۱۳ درصد کاهش یابند.

مراجع

[1] Solbär, L., & Keskitalo, E. C. H. (2017). A Role for Authority Supervision in Impact Assessment ? Examples from Finnish EIA Reviews. Arctic Review, 8, 52–72.

[2] Sereshki, F., & Saffari, A. (2016). Environmental impact assessment and sustainability level determination in cement plants (Case study: Shahrood cement plant). Iranian Journal of Earth Sciences, 8(2), 90–101.

[3] Durden, J. M., Lallier, L. E., Murphy, K., Jaeckel, A., Gjerde, K., & Jones, D. O. B. (2018). Environmental Impact Assessment process for deep-sea mining in ‘the Area.’ Marine Policy, 87, 194–202.

[4] Jay, S., Jones, C., Slinn, P., & Wood, C. (2007). Environmental impact assessment: Retrospect and prospect. Environmental Impact Assessment Review, 27(4), 287–300.

[5] da Silva Dias, A. M., Fonseca, A., & Paglia, A. P. (2019). Technical quality of fauna monitoring programs in the environmental impact assessments of large mining projects in southeastern Brazil. Science of The Total Environment, 650, 216–223.

[6] Saffari, A., Ataei, M., Sereshki, F., & Naderi, M. (2017). Environmental impact assessment (EIA) by using the Fuzzy Delphi Folchi (FDF) method (case study: Shahrood cement plant, Iran). Environment, Development and Sustainability, 21(2), 817–860.

[7] Leopold, L. B., Clarke, F. E., & Hanshaw, B. B. (1971). A procedure for evaluating environmental impact (Vol. 28). US Dept. of the Interior.

[8] Josimovic, B., Petric, J., & Milijic, S. (2014). The Use of the Leopold Matrix in Carrying Out the EIA for Wind Farms in Serbia. Energy and Environment Research, 4(1), 43.

[9] Ashofteh, P.-S., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2017). Multi-Criteria Environmental Impact Assessment of Alternative Irrigation Networks with an Adopted Matrix-Based Method. Water Resources Management, 31(3), 903–928.

[10] Pastakia, C. M. R., & Jensen, A. (1998). The rapid impact assessment matrix (RIAM) for EIA. Environmental Impact Assessment Review, 18(5), 461–482.

[11] Phillips, J. (2010). Evaluating the level and nature of sustainable development for a geothermal power plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(8), 2414–2425.

[12] Folchi, R. (2003). Environmental impact statement for mining with explosives: a quantitative method. Proceedings of the Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 2, 285–296. ISEE; 1999.

[13] Mirmohammadi, M., Gholamnejad, J., Fattahpour, V., Seyedsadri, P., & Ghorbani, Y. (2009). Designing of an environmental assessment algorithm for surface mining projects. Journal of Environmental Management, 90(8), 2422–2435.

www.SID.ir

Archive of SID

[14] Morgan, R. K. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. Impact Assessment and Project Appraisal, 30(1), 5–14.

[15] Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., & Mahadevan, S. (2014). Environmental impact assessment based on D numbers. Expert Systems with Applications, 41(2), 635–643.

[16] Wang, N., & Wei, D. (2018). A modified D numbers methodology for environmental impact assessment. Technological and Economic Development of Economy, 24(2), 653–669.

[17] Kaikkonen, L., Venesjärvi, R., Nygård, H., & Kuikka, S. (2018). Assessing the impacts of seabed mineral extraction in the deep sea and coastal marine environments: current methods and recommendations for environmental risk assessment. Marine Pollution Bulletin, 135, 1183–1197.

[18] Carroll, A. B., & Shabana, K. M. (2010). The business case for corporate social responsibility: A review of concepts, research and practice. International Journal of Management Reviews, 12(1), 85–105.

[19] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253–281.

[20] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429–444.

[21] Cook, W. D., & Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA)–Thirty years on. European Journal of Operational Research, 192(1), 1–17.

[22] Sueyoshi, T. (2016). DEA Environmental Assessment (I): Concepts and Methodologies. In Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis (pp. 413–444). Springer.

[23] Sueyoshi, T., & Yuan, Y. (2016). DEA Environmental Assessment (II): a literature study. In Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis (pp. 445–481). Springer.

[24] Ramanathan, R., Ramanathan, U., & Bentley, Y. (2018). The debate on flexibility of environmental regulations, innovation capabilities and financial performance–A novel use of DEA. Omega, 75, 131–138.

[25] Wang, D., Li, S., & Sueyoshi, T. (2014). DEA environmental assessment on US Industrial sectors: Investment for improvement in operational and environmental performance to attain corporate sustainability. Energy Economics, 45, 254–267.

[26] Sueyoshi, T., Goto, M., & Sugiyama, M. (2013). DEA window analysis for environmental assessment in a dynamic time shift: Performance assessment of US coal-fired power plants. Energy Economics, 40, 845–857.

[27] Sueyoshi, T., & Wang, D. (2014). Sustainability development for supply chain management in US petroleum industry by DEA environmental assessment. Energy Economics, 46, 360–374.

[28] Sueyoshi, T., & Yuan, Y. (2017). Social sustainability measured by intermediate approach for DEA environmental assessment: Chinese regional planning for economic development and pollution prevention. Energy Economics, 66, 154–166.

[29] Lozano, S., Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2009). The link between operational efficiency and environmental impacts: a joint application of life cycle assessment and data envelopment analysis. Science of the Total Environment, 407(5), 1744–1754.

[30] Brans, J.-P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. European Journal of Operational Research, 24(2), 228–238.

[31] Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649–655.

[32] Junior, F. R. L., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Applied Soft Computing, 21, 194–209.

[33] Li, H.-F., & Wang, J.-J. (2007). An improved ranking method for ELECTRE III. 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 6659–6662. IEEE.

[34] Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. Journal of Environmental Management, 63(1), 27–35. https://doi.org/10.1006/jema.2001.0455

[35] Charnes, A., & Cooper, W. W. (1962). Programming with linear fractional functionals. Naval Research Logistics Quarterly, 9(3-4), 181–186.

[36] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, 30(9), 1078–1092.

[37] Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Management Science, 39(10), 1261–1264.

[38] Wu, W.-W. (2012). An integrated solution for benchmarking using DEA, gray entropy, and

www.SID.ir

Archive of SID

Borda count. The Service Industries Journal, 32(2), 321–335.

[39] Shokri, B. J., Ramazi, H., Ardejani, F. D., & Moradzadeh, A. (2014). A statistical model to relate pyrite oxidation and oxygen transport within a coal waste pile: case study, Alborz Sharghi, northeast of Iran. Environmental Earth Sciences, 71(11), 4693–4702.

[40] Shokri, B. J., Ardejani, F. D., & Ramazi, H. (2016). Environmental geochemistry and acid mine drainage evaluation of an abandoned coal waste pile at the Alborz-Sharghi coal washing plant, NE Iran. Natural Resources Research, 25(3), 347–363.

[41] Ghaedrahmati, R., & Doulati Ardejani, F. (2012). Environmental impact assessment of coal washing plant (Alborz-Sharghi–Iran). Journal of Mining and Environment, 3(2), 69–77.

[42] Mohebali, S., Maghsoudy, S., & Doulati Ardejani, F. (2019a). Coupled Multi-Criteria Decision Making Method (C-MCDM) as a New Approach for Environmental Impact Assessment (EIA) of Industrial Companies. Environmental Monitoring and Assessment (submitted).

[43] Phillips, J. (2016). The Geocybernetic Assessment Matrix (GAM)—A new assessment tool for evaluating the level and nature of sustainability or unsustainability. Environmental Impact Assessment Review, 56, 88–101.

[44] Mohebali, S., Maghsoudy, S., & Doulati Ardejani, F. (2019b). Using Dodgson, Kemeny, and Kohler Prioritization Strategies to integrate the Results of Different Environmental Impact Assessment methods. Iranian Journal of Mining Engineering (accepted). (in Persian)

[1] theory of fractional programming
[2] Linear Programming
[3] Variable returns to scale
[4] Potential Improvement
[5] Target
[6] Total Potential Improvement

www.SID.ir